

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

MENU

SEARCH

INDEX

DETAIL

1/1



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number: 05060871

(43)Date of publication of application: 12.03.1993

(51)Int.Cl.

G01T 1/20  
H01J 31/08

(21)Application number: 03224307

(71)Applicant:

HAMAMATSU PHOTONICS KK

(22)Date of filing: 04.09.1991

(72)Inventor:

YAMASHITA OSAMU

ITO MICHIIRO

TOMITA YASUHIRO

MOTOME TAKUYA

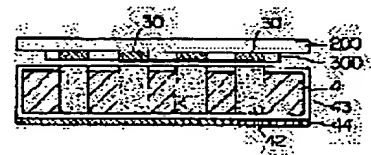
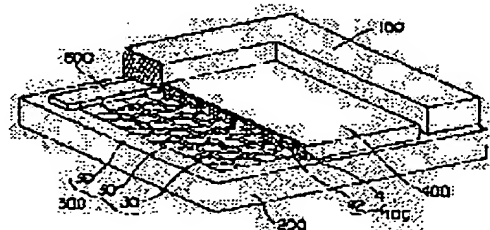
TAKABAYASHI TOSHIO

(54) RADIATION DETECTION ELEMENT

(57)Abstract:

**PURPOSE:** To facilitate the hermetical sealing of a scintillator and to enhance detection efficiency without lowering resolving power by laminating a panel constituted by embedding scintillators in a plurality of recessed parts and a light detecting panel having a plurality of pixels to integrate both of them.

**CONSTITUTION:** A two-dimensional optical sensor 300 has many pixels 30 formed on a glass substrate 200 as a two-dimensional array and a scintillator embedded panel 400 has many scintillators 42 embedded in many recessed parts of a silicon substrate 41. The pixels 30 and the scintillators 42 respectively correspond to each other at symmetric positions. Since the scintillators 42 are separated at every openings of the substrate 41, cross talk is



B7'

reduced and, therefore, high resolving power is realized. Further, since the interior of the substrate 41 functions as the reflecting surface of scintillation light, detection efficiency is high. Furthermore, since a reflecting film 44 is provided, detection efficiency further becomes high. Since the deliquescent scintillators are protected by the adhesion of the panel too or the sensor 300, the deterioration of sensitivity is prevented.

---

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 21.08.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

---

Copyright (C); 1998 Japanese Patent Office

---

[MENU](#)

[SEARCH](#)

[INDEX](#)

[DETAIL](#)

(19)日本国特許庁(J P)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-60871

(43)公開日 平成5年(1993)3月12日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 1 T 1/20

G 7204-2G

B 7204-2G

H 0 1 J 31/08

Z 7247-5E

審査請求 未請求 請求項の数5(全 8 頁)

(21)出願番号

特願平3-224307

(22)出願日

平成3年(1991)9月4日

(71)出願人 000236436

浜松ホトニクス株式会社

静岡県浜松市市野町1126番地の1

(72)発明者 山下 修

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(72)発明者 伊藤 通浩

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(72)発明者 富田 康弘

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(74)代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

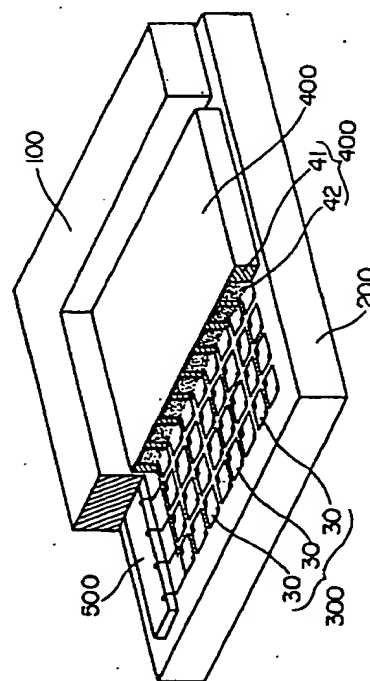
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 放射線検出素子

(57)【要約】

【目的】 放射線検出素子を改良する。

【構成】 所定のピッチで基板に形成された複数の凹部にシンチレータを埋め込んで構成されたシンチレータ埋込パネルと、複数の画素を有する光検出パネルとを貼り合わせて一体化する。また、凹部の深さに応じてシンチレータを厚くできるようにすることで、解像度を低下させることなく検出効率を高める。さらに、防湿保護膜と反射膜を形成することで、耐湿性と検出効率の向上を図る。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定のピッチで基板に形成された複数の凹部にシンチレータを埋め込んで構成されたシンチレータ埋込パネルと、複数の画素を有する光検出パネルとを貼り合わせて一体化したことを特徴とする放射線検出素子。

【請求項2】 前記光検出パネルの有する前記複数の画素は、前記シンチレータ埋込パネルの有する前記複数の凹部と同一ピッチで形成され、前記複数の画素の各々と前記複数の凹部の各々が位置的に対応している請求項1記載の放射線検出素子。

【請求項3】 前記シンチレータが埋め込まれた前記複数の凹部が前記光検出パネルにより密封されている請求項1記載の放射線検出素子。

【請求項4】 前記シンチレータの表面が防湿保護膜により被覆されている請求項1記載の放射線検出素子。

【請求項5】 前記光検出パネルの反対側の前記シンチレータ埋込パネル表面に光反射膜が形成されている請求項1記載の放射線検出素子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は放射線検出素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 放射線検出素子はシンチレータと光検出パネルを組み合わせて構成され、このような従来技術として、二次元光センサの全面にシンチレータを付けたものがある。しかし、これではシンチレータのクロストークにより解像度が低下し、また二次元光センサにダメージを与えやすい欠点がある。

【0003】 一方、光ファイバプレートの上部にシンチレータを付け、光ファイバプレートを通った光を二次元光センサで受光する放射線検出素子も知られている。しかし、光ファイバプレートは高価であり、装置が大型になってしまう。また、検出効率を上げるためにシンチレータを厚くすると解像度が低下しやすい。

【0004】 上記の従来技術の欠点を克服するものとして、光ファイバプレートの表面に多数の凹凸を形成し、ここにシンチレータを付けた技術が、例えば特開昭61-225739号および同63-221279号に提案されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、上記の公報の技術によると、画素分離を図る為には、シンチレータの厚さと同程度か、それ以上の段差をコアガラスとクラッドガラスに設けなければならない。この段差がファイバ径と同程度であれば、シンチレータの充填は可能であり、低エネルギーの放射線を高S/Nの検出器で検出する場合は、あまり問題は生じない。しかし、高エネルギーの放射線を非晶質半導体からなる二次元光センサで検

出しようとする、シンチレータは300 $\mu$ m程度の厚さが要求される。

【0006】 例えば、直径10 $\mu$ m程度のファイバーのコア又はクラッドに、300 $\mu$ mの段差をつけ、数 $\mu$ mの粒径のシンチレータをつめようとする、ファイバプレート全面に欠陥なく充填するのは非常に困難であり、充填量の不足や不均一は信号量の不足や感度ムラを起こす。ファイバ径の大きいファイバプレートを用いた場合（例えば直径100 $\mu$ m程度）、シンチレータは均一に充填されるが、二次元光センサの受光部と位置的なマッチングがとれず、さらに全面エッチングによってシンチレータを埋め込む為、受光部がない位置のファイバーの光も周辺のセンサーが迷光として拾ってしまい、共に解像度を落とす原因となる。

【0007】 また、上記公報の技術では、クラッド部のシンチレータでの励起光はセンサへの入射光とならないので、開口率が小さくなり、必然的に光量が下がるため、開口率が100%のものに比べてシンチレータの厚さ（つまり、エッチング量）は、より厚くしなければならない。これは、上記のシンチレータの充填の困難さを更に増加させる事となる。

【0008】 また、上記のいずれの従来技術についても、潮解性のあるシンチレータの場合、センサ自体を、真空またはN<sub>2</sub>封入のパッケージに入れる必要がある。特開昭63-215987によると、潮解性の対策としてCsIを蒸着した後、キシレン系樹脂をCVD法により蒸着する方法が述べられているが、多数の凹凸やえぐれのあるシンチレータ表面を完全に覆うのは非常に困難であり、1ヶ所のピンホールで感度劣化を起こしてしまう。

【0009】 本発明は、これら従来技術の問題点を解決した放射線検出素子を提供することを課題としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】 本発明に係る放射線検出素子は、所定のピッチで基板に形成された複数の凹部にシンチレータを埋め込んで構成されたシンチレータ埋込パネルと、複数の画素を有する光検出パネルとを貼り合わせて一体化したことを特徴とする。

【0011】

【作用】 本発明の構成によれば、シンチレータ埋込パネルと光検出パネルを貼り合わせて一体化したので、シンチレータの密封を容易になし得る。また、凹部に埋め込むことにしたので、この凹部の深さに応じてシンチレータを厚くでき、解像度を低下させることなく検出効率を高め得る。さらに、防湿保護膜と反射膜を形成することで、耐湿性の更なる向上と、検出効率の更なる向上を実現できる。

【0012】

【実施例】 以下、添付図面により、本発明のいくつかの実施例を説明する。

【0013】まず、実施例の要部の説明に先立ち、本発明の放射線検出素子が用いられる放射線検出装置の全体構成を説明する。図10は全体構成を示す斜視図で、鉛製の放射線遮蔽板100を浮上させて描いてある。ガラス基板200の中央部にはホトダイオード(PD)や薄膜トランジスタ(TFT)などからなる二次元光センサ300が形成され、この上にシンチレータ埋込パネル400が貼り合わされている。また、二次元光センサ300の一方の辺に沿うように垂直シフトレジスタ500がガラス基板200上に設けられ、他方の辺に沿うようにガラス基板200上に水平シフトレジスタ600が設けられている。垂直シフトレジスタ500は画素のスクアン用であり、水平シフトレジスタ600はデータの出力用であり、出力データはガラス基板200上に設けたアンプ700から映像信号として外部に取り出される。

【0014】本実施例においては、上記の基板構成において、二次元光センサ300とシンチレータ埋込パネル400を貼り合わせた点に特徴があり、その様子は図1の一部断面にて示した斜視図の通りである。すなわち、二次元光センサ300はガラス基板200上に二次元のアレイとして形成した複数の画素30を有し、一方、シンチレータ埋込パネル400はシリコン基板41の複数の凹部に埋め込まれた複数のシンチレータ42を有し、各々の画素30と各々のシンチレータ42が対称の位置で対応している。

【0015】このような放射線検出素子では、図1の上方からX線やガンマ( $\gamma$ )線などの放射線が入射すると、シンチレータ42で発光が生じ、この光子が画素30に検出される。この出力は、垂直シフトレジスタ500および水平シフトレジスタ600によって読み出され、アンプ700で増幅されて出力される。

【0016】二次元光センサ300の各々の画素30は、図2のように構成されている。図2(a)は画素30の平面図、同図(b)は断面図である。各々の画素30は、光検出セルとしてのホトダイオード31と、スイッチとしての薄膜トランジスタ32を有し、ホトダイオード31は薄膜トランジスタ32のソース電極33上にPinシリコンホトダイオードとして構成されている。ホトダイオード31のアノード電極34はコモンライン35に接続され、薄膜トランジスタ32のドレイン電極はドレインライン36に接続され、ゲート電極はゲートライン37に接続されている。なお、ドレインライン36は前述の水平シフトレジスタ600に、ゲートライン37は垂直シフトレジスタ500にそれぞれ接続されている。そして、薄膜トランジスタ32にシンチレーション光が入射しないように、絶縁膜をはさんで薄膜トランジスタ32上に遮光膜38が設けられている。

【0017】図3は画素30とシンチレータ42の対応関係を示す断面図である。シンチレータ埋込パネル40の本体をなすシリコン基板41には、二次元光センサ

300の各画素30に対応して開孔が形成され、ここにシンチレータ42が埋め込まれている。そして、上面が保護膜( $\text{SiO}_2$ 膜)43で被覆され、その上にアルミニウムやクロムなどの反射膜44が形成されている。この構成によれば、上方からのX線やガンマ線は反射膜44および保護膜43を透過してシンチレータ42に到達し、シンチレーション発光を起こさせる。この光子はホトダイオード31に入射して検出される。一方、上方に放射されたシンチレーション光も、反射膜44で反射されてホトダイオード31に入射されるので、検出効率が高い。なお、この場合のシンチレータ42としては、CsI(ヨウ化セシウム)などが用いられる。

【0018】図4は画素30とシンチレータ42の対応関係を示す別の例の断面図である。この場合にも、シリコン基板41に設けられた開孔がホトダイオード31と対応し、ここにシンチレータ42として $\text{Gd}_2\text{O}_3\text{S}$ が埋め込まれている。この場合には、シンチレータ42に潮解性がないので、シリコン基板41の開孔を二次元光センサ300で密封するようには構成されていない。なお、この詳細については後述する。

【0019】次に、二次元光センサ300とシンチレータ埋込パネル400の貼り合わせ構造体の製造プロセスを説明する。

【0020】図5および図6は図3の実施例に対応する製造工程別の断面図である。まず、上面および下面が<100>面となったシリコン基板41を用意し、熱酸化法によって厚さ1 $\mu\text{m}$ 程度の $\text{SiO}_2$ からなる保護膜43を形成する(図5(a),(b)参照)。熱酸化によれば、ピンホールのない膜が形成できる。

【0021】次に、フォトリソグラフィ技術を用いることにより、上面の保護膜43に多数の開孔46を形成する。そして、開孔46の個数と位置は、貼り合わせる二次元光センサ300の画素30と対応させる(図5(c)参照)。ここで、開孔46を<111>面のうち<110>面と直角に交わる面と<110>面との交線によって構成し、水酸化カリウム溶液に入れると、エッチングレートの違い(横方向に対して縦方向が400倍)により、垂直な開孔47がシリコン基板41に形成される(図5(d)参照)。

【0022】次に、シリコン基板41の下面の保護膜43上にアルミニウムなどを真空蒸着することにより、シンチレーション光反射用の反射膜44を形成する(図6(a)参照)。しかる後、シンチレータ42の材料として例えばCsI(Na)を、蒸着法や溶融法等で開孔47に埋め込み、不要部分を除去する(図6(b)参照)。

【0023】次に、しかるべき処理をした後に、別途にガラス基板200上に作製した二次元光センサ300を、ガラス基板200と共にシンチレータ埋込パネル400に対向させ(図6(c)参照)、接着剤49によつ

て貼り合わせる。このとき、シンチレータ42とホトダイオード31が個々に対応するようにしておく(図6(d)参照)。

【0024】上記プロセスで作製された放射線検出素子では、シリコン基板41の開孔47に埋め込まれたシンチレータ42は、一方はピンホールのない熱酸化による保護膜43でカバーされ、他方は二次元光センサ300によって接着剤49を介して密封されるので、通気性がなく、従ってCsIなどに特有な潮解性の問題が生じない。さらに、保護膜43と反射膜44の間にSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>などをスパッタ法、CVD法で形成しておけば、膜強度が向上して作業上の歩留りが良好となる。

【0025】図7は図4の実施例に対応するプロセスを示している。まず、図5(a)~(b)と同様の工程により、図7(a)のようにシリコン基板41に開孔47を形成する。次に、シンチレータ42の材料として潮解性の低いGd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Sを沈降法で埋め込む(図7(b)参照)。このとき、開孔47以外の部分にもGd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Sが堆積するが、除去することなく、上面に保護膜(SiO<sub>2</sub>膜)45とアルミニウムなどの反射膜44を形成する。そして、ガラス基板200と共に二次元光センサ300を下面から貼り合わせる(図7(c)参照)。

【0026】この実施例のプロセスの場合には、シンチレータ42が潮解性のないGd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Sなので、シリコン基板41の下面に二次元光センサ300を貼り合わせることが可能である。また、シリコン基板41はシンチレーション光の阻止能を有しているため、シリコン基板41の上面のGd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Sを除去する必要がない。

【0027】図8はシンチレータの製造プロセスが二次元光センサ300にダメージを与えない場合の工程を示している。まず、二次元光センサ300を形成したガラス基板200と、表面に保護膜43を形成したシリコン基板41を用意し、貼り合わせる。このとき、ガラス基板200上の受光エリア外には、アライメントマーク91を形成しておく。そして、保護膜43上にホトレジスト膜92をコーティングし、ホトマスク93を用いて露光する。このとき、ホトマスク93にはクロムパターン94と共に、アライメントマーク99をガラス基板200上のアライメントマーク91に対応させて設けておく(図8(a)参照)。

【0028】このようにして、ホトマスク93の位置合せをして、露光、現象および保護膜43の選択エッチングにより開口46を形成する。そして、沈降法でGd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Sによるシンチレータ42を埋め込み、不要部分を除去後に、保護膜45および反射膜44を形成する(図8(c)参照)。このプロセスによれば、シンチレータ42と画素30の位置合せを、アライメントマーク91およびアライメントマーク99によって正確に行なえる。

【0029】図9は、図8による放射線検出素子の変形

例を示している。この場合には、シリコン基板41のエッチングによる開孔47の形成を、異方性の弱いエッチャントで行なっている。このため、開孔47はテーパとなり、ここにシンチレータ42が埋め込まれている。二次元光センサ300の受光面の開口率が小さい場合には、放射線検出の有効面積が広がるので、S/N比を向上できる効果がある。

【0030】以上に説明した実施例の効果、利点を列挙すると、次のようになる。まず、特性上の利点として、シンチレータ42はシリコン基板41の開孔47ごとに分離しているので、クロストークが少なく、従って高解像度が実現できる。また、シリコン基板41の内部がシンチレーション光の反射面として働くので、検出効率が高くなる。さらに、反射膜44を設けることで、更に高効率にできる。さらにまた、シンチレータ部分の窓材が非常に薄く形成されるので、放射線の透過性に優れている。

【0031】次に、製造プロセス上の利点としては、半導体プロセスとして確立されたシリコンウエーハプロセスで作製できるので、製造コストが低い。また、シンチレータ42を埋め込む開孔47のパターン設計、変更が容易なので、多種多様の二次元光センサ300にマッチングさせることができる。さらに、二次元光センサ300にダメージを与えることなく、シンチレータの製造プロセスを実行することができる。

【0032】更にデバイス上の利点としては、光ファイバプレートに比べて安価であり、高开孔率にできる。また、大型化も比較的容易である。さらに、二次元光センサ300とシンチレータ埋込パネル400を密着すれば、SiO<sub>2</sub>膜や反射膜44が潮解性のあるシンチレータ(例えばCsI(Na)など)を保護するため、真空あるいはN<sub>2</sub>封入のパッケージに収容する必要がなく、感度劣化の心配もない。

【0033】

【発明の効果】以上、詳細に説明した通り、本発明の構成によれば、シンチレータ埋込パネルと光検出パネルを貼り合わせて一体化したので、シンチレータの密封を容易にし得る。また、凹部に埋め込むことにしたので、この凹部の深さに応じてシンチレータを厚くでき、解像度を低下させることなく検出効率を高め得る。さらに、防湿保護膜と反射膜を形成することで、耐湿性の更なる向上と、検出効率の更なる向上を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例に係る放射線検出素子を用いた放射線検出装置の一部を断面で示した斜視図である。

【図2】実施例の二次元光センサ300の画素30の構成を示す図である。

【図3】実施例の要部の断面図である。

【図4】別の実施例の要部の断面図である。

【図5】図3の実施例に対応する製造プロセス図であ

る。

【図6】図3の実施例に対応する製造プロセス図である。

【図7】図4の実施例に対応する製造プロセス図である。

【図8】変形例に係る製造プロセス図である。

【図9】変形例の断面図である。

【図10】実施例の放射線検出素子が適用される放射線検出装置の斜視図である。

【符号の説明】

100…放射線遮蔽板

200…ガラス基板

300…二次元光センサ

30…画素

31…ホットダイオード

32…薄膜トランジスタ

36…ドレインライン

37…ゲートライン

400…シンチレータ埋込パネル

41…シリコン基板

42…シンチレータ

43…保護膜

44…反射膜

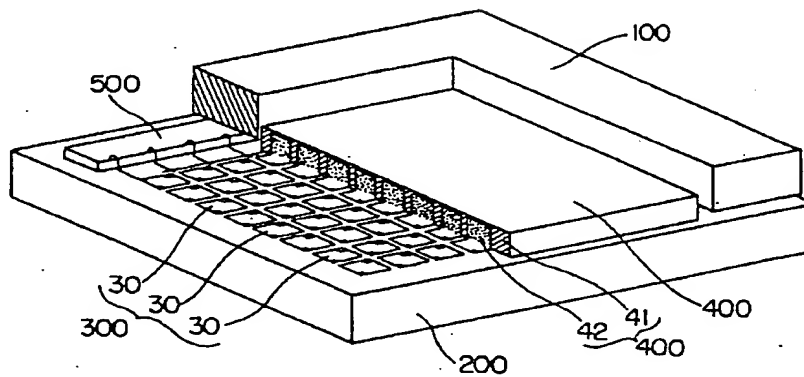
10 49…接着剤

500…垂直シフトレジスタ

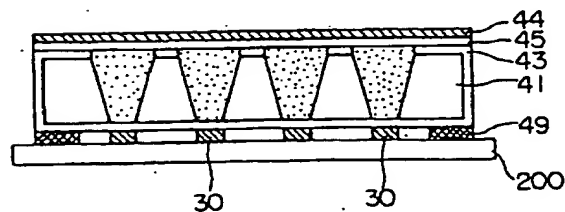
600…水平シフトレジスタ

700…アンプ

【図1】

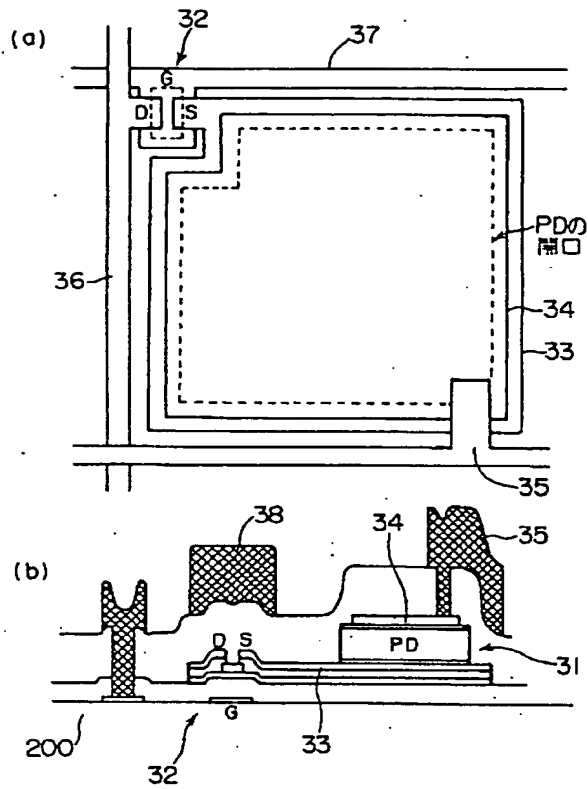


【図9】

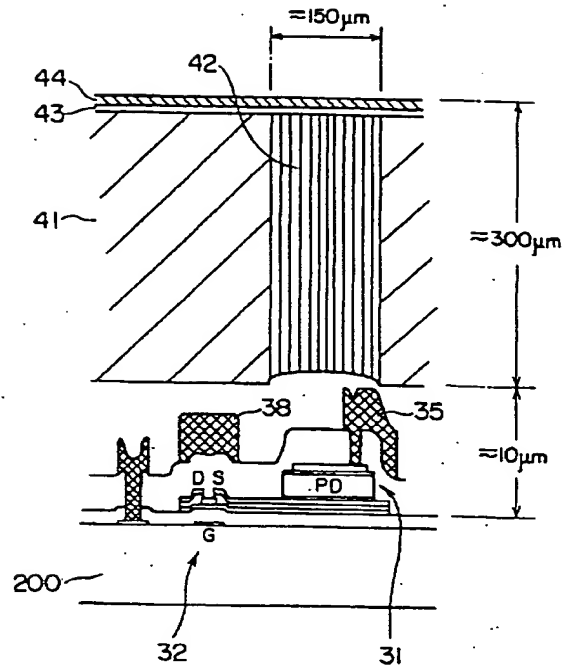




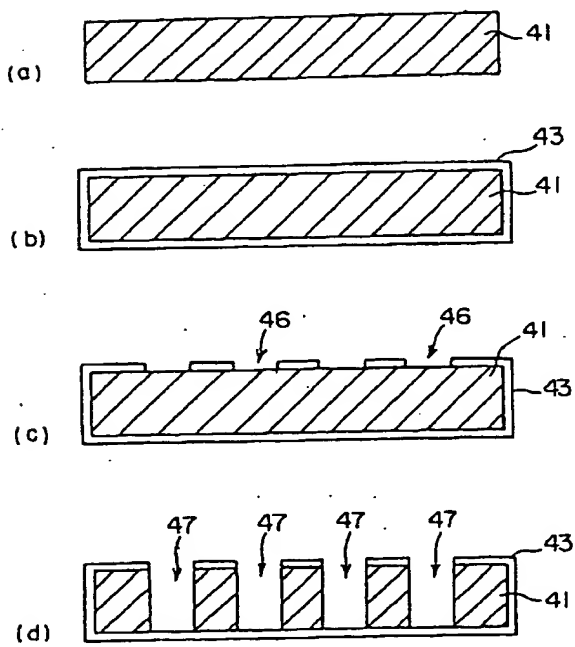
【図2】



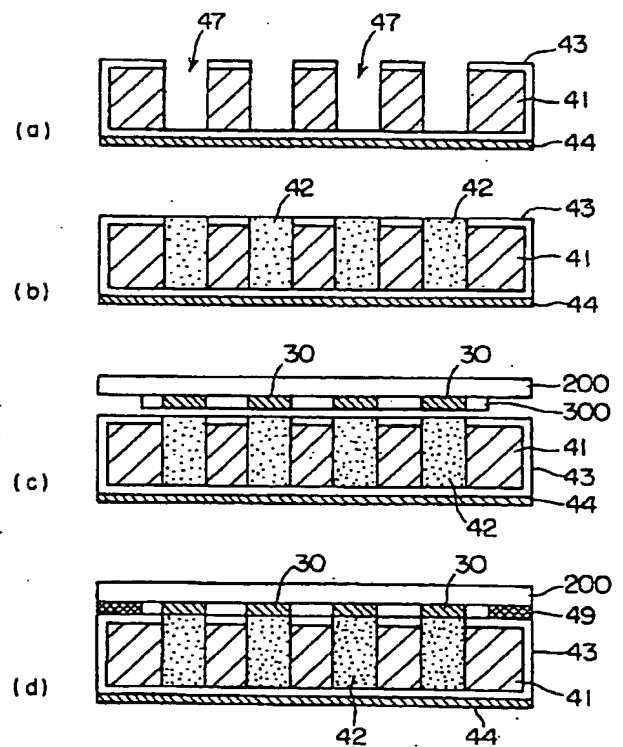
【図3】



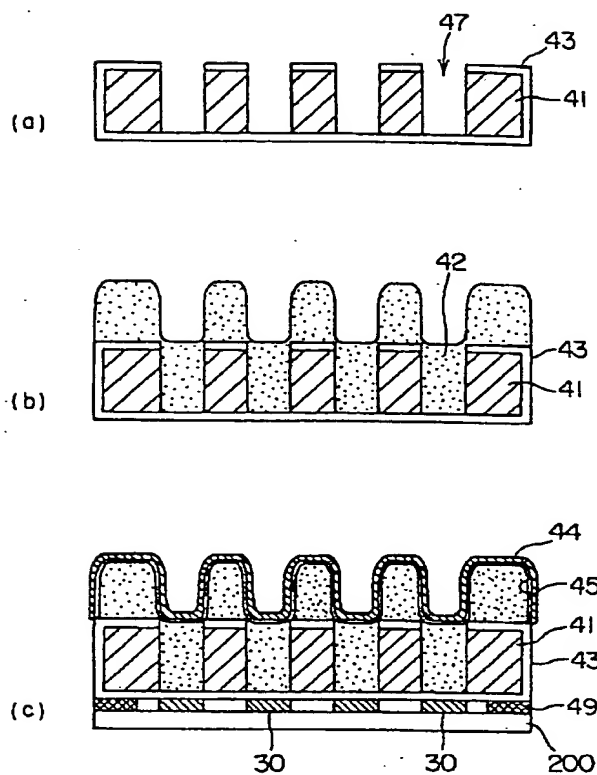
【図5】



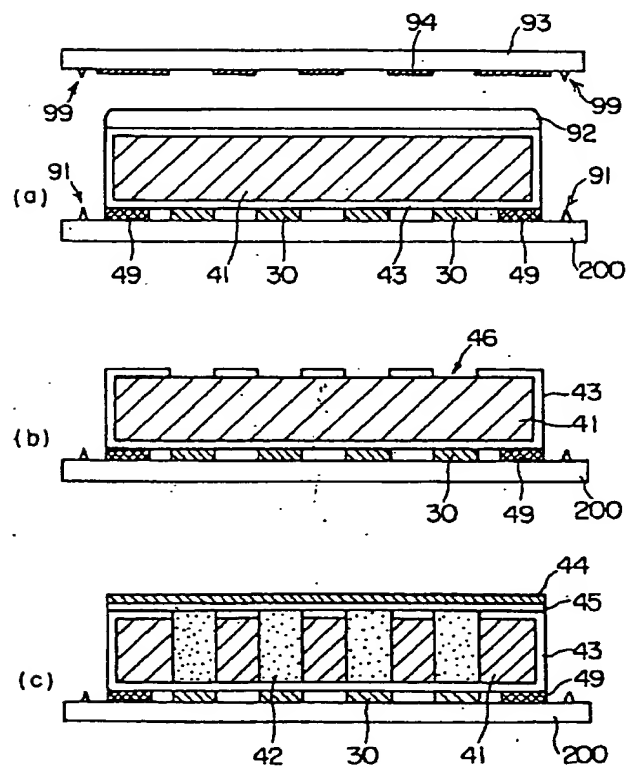
【図6】



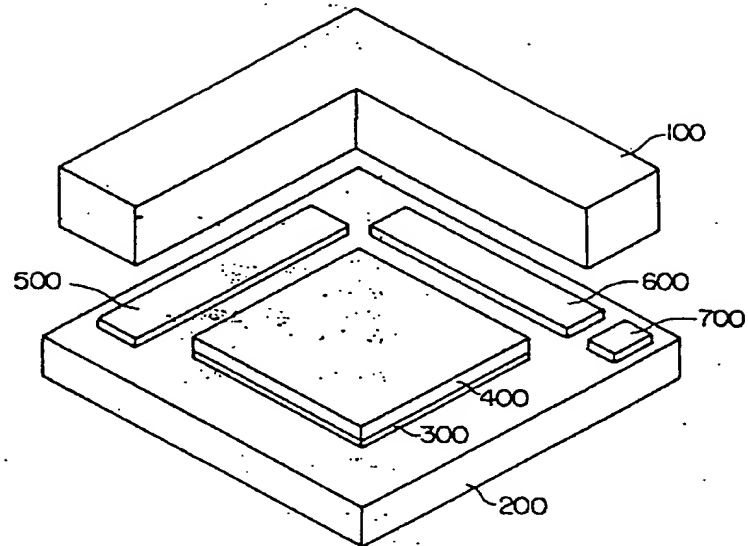
【圖 7】



【图8】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 本目 卓也  
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(72)発明者 高林 敏雄  
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(19) JAPANESE PATENT OFFICE (JP)  
 (12) Gazette for Publication of Unexamined Patent  
 Application (A)  
 (11) Unexamined Patent Application (Kokai) No. 5-60871  
 5 (43) Disclosure Date: March 12, 1993  
 Class. Internal Office  
 (51) Int. Cl.<sup>5</sup> Identification Internal File  
 F1

		Number	Number
10	G 01 T 1/20	G	7204-2G
		B	7204-2G
	H 01 J 31/08	Z	7247-5E

15 Technical Theme  
 Request for Examination: Not requested  
 Number of Claims: 5  
 (Total of pages [in original]): 8  
 (21) Application No.: Japanese Patent Application No.  
 20 3-224307  
 (22) Filing Date: September 4, 1991  
 (71) Applicant: 000236436  
 Hamamatsu Photonics Co., Ltd.  
 1126-1, Ichino-cho, Hamamatsu-  
 25 shi,  
 Shizuoka-ken  
 (72) Inventor: Osamu Yamashita  
 c/o Hamamatsu Photonics Co., Ltd.  
 1126-1, Ichino-cho, Hamamatsu-  
 30 shi,  
 Shizuoka-ken  
 (72) Inventor: Michihiro Ito  
 c/o Hamamatsu Photonics Co., Ltd.  
 1126-1, Ichino-cho, Hamamatsu-  
 35 shi,  
 Shizuoka-ken  
 (72) Inventor: Yasuhiro Tomita  
 c/o Hamamatsu Photonics Co., Ltd.  
 1126-1, Ichino-cho, Hamamatsu-  
 40 shi,  
 Shizuoka-ken  
 (72) Inventor: Takuya Honme  
 c/o Hamamatsu Photonics Co., Ltd.  
 1126-1, Ichino-cho, Hamamatsu-  
 45 shi,  
 Shizuoka-ken  
 (72) Inventor: Toshio Takabayashi

c/o Hamamatsu Photonics Co., Ltd.  
1126-1, Ichino-cho, Hamamatsu-

shi,

Shizuoka-ken

5 (74) Representative: Yoshiki Hasegawa, Patent  
Attorney

(and three others)

(54) [Title of the Invention] Radiation detecting  
element

10 (57) [Abstract]

[Object] An object is to improve a radiation detecting  
element.

15 [Means] A scintillator-embedded panel constituted by  
embedding scintillators in a plurality of concavities  
formed on a substrate at a prescribed pitch and a  
light-detecting panel having a plurality of pixels are  
affixed together to integrate them. Moreover, the  
detection efficiency is increased without reducing the  
resolution by allowing the thickness of the  
20 scintillators to be increased in accordance with the  
depth of the concavities. Furthermore, moisture  
resistance and detection efficiency are increased  
through the formation of a moisture-proof protective  
film and a reflective film.

25

[Claims]

[Claim 1] A radiation detecting element wherein a scintillator-embedded panel constituted by embedding scintillators in a plurality of concavities formed on a substrate at a prescribed pitch and a light-detecting panel having a plurality of pixels are affixed together to form an integral entity.

[Claim 2] The radiation detecting element according to Claim 1, wherein said plurality of pixels on said light-detecting panel are formed at the same pitch as said plurality of concavities formed in said scintillator-embedded panel, and each of said plurality of pixels is positionally corresponding to one of said plurality of concavities.

[Claim 3] The radiation detecting element according to Claim 1, wherein said plurality of concavities in which said scintillators are embedded are sealed off by said light-detecting panel.

[Claim 4] The radiation detecting element according to Claim 1, wherein the surface of said scintillators is covered by a moisture-proof protective film.

[Claim 5] The radiation detecting element according to Claim 1, wherein a light-reflecting film is formed on the surface of said scintillator-embedded panel on the side opposite from said light-detecting panel.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Technological Field of the Invention] The present invention relates to a radiation detecting element.

[0002]

[Prior Art] A radiation detecting element comprises scintillators combined with a light-detecting panel, and one example of this conventional technology consists of a two-dimensional light sensor on which scintillators are mounted to the entire surface thereof. However, this technology entails the disadvantages that the resolution is reduced by cross-talk among the scintillators, and the two-dimensional sensor is easily damaged.

[0003] On the other hand, another radiation detecting element known in the prior art receives via a two-dimensional sensor light that has passed through an optical fiber plate having scintillators mounted to the top thereof. However, the optical fiber plate is costly, and makes the apparatus large in size. Furthermore, if the thickness of the scintillators is increased in order to increase detection efficiency,

the resolution can easily decline.

[0004] In order to remedy the flaws in the conventional art described above, a technology has been proposed in which numerous concavities and protrusions are formed in the surface of an optical fiber plate and the scintillators are mounted in such concavities, such as the technology described in Japanese Patent Laid-Open 61-225739 and Japanese Patent Laid-Open 63-221279.

[0005]

[Problem Addressed by the Invention] However, according to the technology disclosed by the laid-open Japanese patents referred to above, in order to achieve pixel separation, spacers that equal or exceed the thickness of the scintillators must be located between the core glass and clad glass. If these spacers have the same height as the fiber radius, scintillator filling can be performed, and where low-energy radiation is to be detected by a high S/N detector, there are few problems. However, if high-energy radiation is to be detected by a two-dimensional light sensor comprising an amorphous semiconductor, the scintillators must have a thickness on the order of 300  $\mu\text{m}$ .

[0006] For example, if spacers having a length of 300  $\mu\text{m}$  are mounted to the core or clad of fiber having a diameter of approximately 10  $\mu\text{m}$ , and scintillators having a diameter of several  $\mu\text{m}$  are to be filled therein, it is extremely difficult to completely fill the entire surface of the fiber plate without the presence of flaws, and deficiencies or non-uniformity in the amount of filling causes insufficient signal strength or a non-uniform resolution. Where a fiber plate having a large fiber radius (such as a radius of 100  $\mu\text{m}$ ) is used, [it] can be filled with scintillators uniformly, but because an accurate positional match with the photoreceptors of the two-dimensional light sensor cannot be obtained and the scintillators are embedded via total-surface etching, the light in the fiber at a position where there no photoreceptor exists is picked up as stray light by the surrounding sensors<sup>1</sup>, which also causes a reduction in resolution.

[0007] Furthermore, using the technology of the laid-open Japanese patents described above, because the excitation light from the scintillators does not strike

---

<sup>1</sup> To be internally consistent, this should probably be 'photoreceptors' instead of 'sensors'.

the sensor, the numerical aperture becomes small and the amount of light is inevitably reduced, and as a result the thickness of the scintillators (i.e., the amount of etching) must be increased relative to the thickness used where the numerical aperture is 100%. This phenomenon further compounds the difficulty in scintillator filling described above.

[0008] With either of the conventional technologies described above, in the case of deliquescent scintillators, the sensor itself must be placed in a sealed enclosure containing a vacuum or N<sub>2</sub> gas. Japanese Patent Laid-Open 63-215987 describes an anti-deliquescence method in which xylene resin is deposited [onto the scintillator surface] using the CVD method after CsI is deposited, but it is very difficult to completely cover a scintillator surface that has many protrusions and indentations, and even a single pinhole can reduce sensitivity.

[0009] An object of the present invention is to provide a radiation detecting element that resolves the problems with the conventional art described above.

[0010]

[Means to Resolve the Problem] The radiation detecting element pertaining to the present invention is characterized in that a light-detecting panel having a plurality of pixels is affixed to a scintillator-embedded panel constituted by embedding scintillators in a plurality of concavities formed on a substrate at a prescribed pitch, to form an integral entity.

[0011]

[Operation] According to the construction of the present invention, because the scintillator-embedded panel and the light-detecting panel are glued together and integrally formed, the scintillators can be easily sealed. In addition, because [the scintillators] are embedded in concavities, the thickness of the scintillators can be increased to match the depth of the concavities, and detection efficiency can be increased without reducing the resolution. Moreover, moisture resistance and detection efficiency can be even further improved by forming a moisture-proof film and a reflective film [on the scintillator surface].

[0012]

[Embodiments] Several embodiments of the present invention will be described below with reference to the attached drawings.

[0013] First, before the important elements of the



embodiments are described, the overall construction of the radiation detecting apparatus that uses the radiation detecting element of the present invention will be described. Fig 10 is a perspective view of this overall construction, in which a lead radiation shielding plate 100 is shown raised above the other components. A two-dimensional light sensor 300 comprising photodiodes (PD) and thin-film transistors (TFT) are formed in the center of a glass substrate 200, and a scintillator-embedded panel 400 is affixed on top of the light sensor 300. Furthermore, a vertical shift register 500 is located on the glass substrate 200 such that it runs along one side of the two-dimensional light sensor 300, and a horizontal shift register 600 is located on the glass substrate 200 such that it runs along another side of two-dimensional light sensor 300. The vertical shift register 500 is used for pixel scanning, the horizontal shift register 600 is used for data output, and the output data is output as image signals from an amplifier 700 located on the glass substrate 200.

[0014] In this embodiment, in connection with the substrate construction described above, the two-dimensional light sensor 300 and the scintillator-embedded panel 400 are affixed together, and this aspect is shown in the partial cutaway perspective view shown in Fig. 1. Specifically, the two-dimensional light sensor 300 has a plurality of pixels 30 formed as a two-dimensional array on the glass substrate 200, while the scintillator-embedded panel 400 has a plurality of scintillators 42 that are embedded in a plurality of concavities in a silicon substrate 41, and the pixels 30 and the scintillators 42 are arranged so as to face each other.

[0015] Using this radiation detecting element, when radiation such as X-rays or gamma ( $\gamma$ ) rays strikes the radiation detecting element from the top in Fig. 1, light is emitted from the scintillators 42, and these photons are detected by the pixels 30. This output is read out by the vertical shift register 500 and the horizontal shift register 600 and is then amplified and output by the amplifier 700.

[0016] The pixels 30 of the two-dimensional light sensor 300 have the construction shown in Fig. 2. Fig. 2(a) is a plan view of a pixel 30, while Fig. 2(b) is a cross-sectional view of a pixel 30. Each pixel 30 has a photodiode 31 that functions as a light-detecting cell,

as well as a thin-film transistor 32 that functions as a switch, and the photodiode 31 comprises a Pin silicon photodiode on the source electrode of the thin-film transistor 32. The anode electrode 34 of the photodiode 31 is connected to the common line 35, the drain electrode of the thin-film transistor 32 is connected to the drain line 36, and the gate electrode 37 is connected to the gate line 37. The drain line 36 is connected to the horizontal shift register 600 described above, while the gate line 37 is connected to the vertical shift register 700 described above. In addition, a light-blocking film 38 is located above the thin-film transistor 32, separated [from the thin-film transistor 32] by an insulating film, in order to ensure that scintillation light does not strike the thin-film transistor 32.

[0017] Fig. 3 is a cross-section showing the relationship between the pixel 30 and the scintillator 42. Open holes corresponding to each pixel 30 of the two-dimensional light sensor 300 are formed in the silicon substrate 41 that comprises the base component of the scintillator-embedded panel 400, and the scintillators 42 are embedded in these holes. The top surface [of the silicon substrate 41] is covered by a protective film ( $\text{SiO}_2$  film) 43, and an aluminum or chrome reflective film 44 is then formed on top of the protective film 43. Using this construction, X-rays or gamma rays coming from above pass through the reflective film 44 and the protective film 43 and reach the scintillator 42, whereupon scintillation light is emitted. These photons strike the photodiode 31 and are detected. At the same time, because scintillation light that is emitted upward is reflected by the reflective film 44 and strikes the photodiode 31, detection efficiency is high. CsI (cesium iodide) or the like may be used as the scintillator 42 in this instance.

[0018] Fig. 4 is a cross-section of a different example showing the relationship between the pixel 30 and the scintillator 42. In this case as well, the open hole located in the silicon substrate 41 corresponds to the photodiode 31, and [here]  $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$  is embedded therein to form the scintillator 42. Because the scintillator 42 exhibits no deliquescence in this case, the openings in the silicon substrate 41 are not sealed by the two-dimensional light sensor 300. The details regarding this construction will be described below.

[0019] The manufacturing process used to affix the

two-dimensional light sensor 300 to the scintillator-embedded panel 400 will now be explained.

[0020] Figs. 5 and 6 are cross-sections showing each manufacturing step corresponding to the embodiment shown in Fig. 3. First, a silicon substrate 41 in which the top surface and the bottom surface are  $\langle 100 \rangle$  surfaces is prepared, and a protective film 43 comprising  $\text{SiO}_2$  having a thickness of approximately  $1 \mu\text{m}$  is formed [thereon] via thermal oxidation (see Figs. 5(a) and 5(b)). Thermal oxidation enables a film having no pinholes to be formed.

[0021] Next, a plurality of openings 46 are formed in the top surface of the protective film 43 via photolithography. The number and positions of the openings 46 are set to match those of the pixels 30 of the two-dimensional light sensor 300 to which the scintillator-embedded panel 400 is to be affixed (see Fig. 5(c)). Here, where the openings 46 are formed using the lines of intersection of those  $\langle 111 \rangle$  faces, from among  $\langle 111 \rangle$  faces, that cross the  $\langle 110 \rangle$  faces at a right angle and the  $\langle 110 \rangle$  faces, and the silicon substrate is placed in a solution of potassium hydroxide, vertical open holes 47 are formed in the silicon substrate 41 via the difference in the etching rate (the rate in the vertical direction is 400 times the rate in the horizontal direction) (see Fig 5(d)).

[0022] A reflective film 44 used to reflect scintillation light is then formed by vacuum deposition of aluminum or the like onto the protective film 43 located on the bottom surface of the silicon substrate 41 (See Fig. 6(a)). Next, the substance to comprise the scintillators 42, such as CsI (Na), is embedded in the open holes 47 via deposition or melting, and the excess portion is removed (see Fig. 6(b)).

[0023] After necessary processing is performed, a two-dimensional light sensor 300 separately formed on a glass substrate 200 is oriented such that it faces the scintillator-embedded panel 400 together with the glass substrate 200 (see Fig. 6(c)), and the glass substrate 200 and the scintillator-embedded panel 400 are glued together using an adhesive 49. When this is done, it is ensured that each individual scintillator 42 corresponds to an individual photodiode 31 (see Fig 6(d)).

[0024] Using the radiation detecting element formed using the process described above, because the scintillators 42 embedded in the open holes 47 in the

silicon substrate 41 are not only covered by the protective film 43 via the thermal oxidation method that does not result in pinholes, but are furthermore sealed off by the two-dimensional light sensor 300 via the adhesive 49, they are enclosed in an airtight fashion, and consequently the problem of deliquescence that occurs with CsI or the like does not occur. Furthermore, if  $\text{Si}_3\text{N}_4$  or the like is formed between the protective film 43 and the reflective film 44 via the sputtering method or the CVD method, the films are made stronger and the operating yield is improved.

[0025] Fig. 7 shows the process corresponding to the embodiment shown in Fig. 4. First, open holes 47 are formed in a silicon substrate 41 as shown in Fig. 7(a) using the same steps shown in Figs. 5(a) and 5(b). Next,  $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$ , which has a low susceptibility to deliquescence, are embedded [in these open holes] via the sedimentation method to form the scintillators 42 (see Fig. 7(b)). When this is done, the  $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$  accumulates in areas other than the open holes 47, but a protective film ( $\text{SiO}_2$  film) 45 and a reflective film 44 comprising aluminum or the like are formed over the  $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$  without removing the  $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$  in such areas. The two-dimensional light sensor 300 is then affixed from the bottom, together with the glass substrate 200 (see Fig. 7(c)).

[0026] Where the process of this embodiment is conducted, because the scintillators 42 comprise  $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$ , which exhibits no deliquescence, the two-dimensional light sensor 300 can be affixed to the bottom surface of the silicon substrate 41. Furthermore, because the silicon substrate 41 has the ability to block the scintillation light, there is no need to remove the  $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$  from the top surface of the silicon substrate 41.

[0027] Fig. 8 shows a process performed where the scintillator manufacturing process does not cause damage to the two-dimensional light sensor 300. First, the glass substrate 200 on which the two-dimensional light sensor 300 is formed and the silicon substrate 41 on the surface of which the protective film 43 is formed are prepared, and the two substrates are affixed together. When this is done, alignment marks 91 are formed outside the light receiving area of the glass substrate 200. The protective film 43 is then coated with a photoresist film 92, and is exposed using a photomask 93. When this is done, alignment marks 99 are formed on the photomask 93 together with a chrome

pattern 94 so as to correspond to the alignment marks 91 on the glass substrate 200 (see Fig. 8(a)).

[0028] The photomask 93 is positioned in this manner, and openings 46 are formed through exposure, developing and selective etching of the protective film 43. Scintillators 42 comprising  $Gd_2O_2S$  are embedded using the sedimentation method, and after the unnecessary  $Gd_2O_2S$  is removed, the protective film 45 and the reflective film 44 are formed (see Fig. 8(c)). In this process, the accuracy of the positioning of the scintillators 42 and the pixels 30 is ensured using the alignment marks 91 and the alignment marks 99.

[0029] Fig. 9 shows a modification of the radiation detecting element manufactured using [the process shown in] Fig. 8. Here, the formation of the open holes 47 via etching of the silicon substrate 41 is conducted via an etchant that exhibits weak anisotropy. As a result, the open holes 47 are tapered, and the scintillators 42 are embedded therein. Where the light receiving surface of the two-dimensional light sensor 300 has a small numerical aperture, the effective radiation detection area increases, which permits the S/N ratio to be improved.

[0030] The effects and advantages of the embodiments described above are as follows. First, a characteristic advantage of these embodiments is that because the scintillators 42 are individually assigned to the open holes 47 in the silicon substrate 41, there is little cross-talk, allowing high resolution to be achieved. Furthermore, because the interior of the silicon substrate 41 operates as a reflective surface that reflects scintillation light, detection efficiency increases. Moreover, the use of a reflective film 44 permits detection efficiency to be further increased. In addition, because the substance comprising the scintillator window is formed as an extremely thin layer, superior radiation-transparency can be achieved.

[0031] An advantage of the manufacturing processes described above is that because the processes employed use the silicon wafer process, which is well-established as a semiconductor [manufacturing] process, the manufacturing cost is low. Furthermore, because the pattern by which the open holes 47 in which the scintillators 42 are embedded can be easily designed and changed, it can be matched to various types of two-dimensional light sensor 300. Moreover, the scintillator manufacturing processes can be conducted

without causing damage to the two-dimensional light sensor 300.

[0032] A further advantage of this device is that it is less expensive than an optical fiber plate and offers a higher numerical aperture. In addition, it is relatively easy to make the device large in size. Furthermore, if the two-dimensional light sensor 300 and the scintillator-embedded panel 400 are affixed together, because deliquescent scintillators 42 (such as those comprising CsI (Na)) are protected by the SiO<sub>2</sub> film and the reflective film 44, a decrease in sensitivity can be prevented without the need to house the scintillators in a sealed vacuum or N<sub>2</sub> enclosure.

[0033]

[Effect of the Invention] As described above in detail, according to the present invention, because the scintillator-embedded panel and the light-detecting panel are affixed together and thereby integrally formed, the scintillators can be easily sealed off. Furthermore, because the scintillators are embedded in concavities, the thickness of the scintillators can be increased in accordance with the depth of the concavities, allowing detection efficiency to be increased without reducing the resolution. In addition, by forming a waterproof film and a reflective film [on the scintillator surface], improved moisture resistance and detection efficiency can be obtained.

[Brief Description of the Drawings]

[Figure 1] A perspective view showing a partial cross-section of a radiation detecting apparatus in which the radiation detecting element pertaining to an embodiment [of the present invention] is applied;

[Figure 2] A drawing showing the construction of a pixel 30 of the two-dimensional light sensor of an embodiment [of the present invention];

[Figure 3] A cross-sectional view of the important parts of an embodiment [of the present invention];

[Figure 4] A cross-sectional view of the important parts of a different embodiment [of the present invention];

[Figure 5] A manufacturing process drawing corresponding to the embodiment shown in Fig. 3;

[Figure 6] A manufacturing process drawing corresponding to the embodiment shown in Fig. 3;

[Figure 7] A manufacturing process drawing corresponding to the embodiment shown in Fig. 4;

[Figure 8] A manufacturing process drawing pertaining

to a modification;

[Figure 9] A cross-sectional view of a modification;

[Figure 10] A perspective view of a radiation  
detecting apparatus in which the radiation detecting  
element of the embodiments is applied.

[Key]

	100	RADIATION DETECTING ELEMENT
	200	GLASS SUBSTRATE
10	300	TWO-DIMENSIONAL LIGHT SENSOR
	30	PIXEL
	31	PHOTODIODE
	32	THIN-FILM TRANSISTOR
	36	DRAIN LINE
15	37	GATE LINE
	400	SCINTILLATOR-EMBEDDED PANEL
	41	SILICON SUBSTRATE
	42	SCINTILLATOR
	43	PROTECTIVE FILM
20	44	REFLECTIVE FILM
	49	ADHESIVE
	500	VERTICAL SHIFT REGISTER
	600	HORIZONTAL SHIFT REGISTER
25	700	AMPLIFIER